Sugar maple *Acer saccharum* Marsh. tree and board standard volume tables for the Great Lakes - St Lawrence forest region Quebec

Environment Canada Environnement Canada
00892341 VOL ISS 63 1983
EXC # 001

INFORMATION REPORT (LAURENTIAN FOREST RESEARCH CENTRE)
OOFF

85-0168/

CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES DES LAURENTIDES

Le Centre de recherches forestières des Laurentides (CRFL) est un des six établissements régionaux du Service canadien des forêts (SCF), au sein d'Environnement Canada. Le Centre poursuit des travaux de recherche et de développement pour un aménagement et une utilisation plus rationnels des ressources forestières du Québec. En collaboration avec divers groupes et organismes québécois, les chercheurs du CRFL visent à solutionner les problèmes majeurs en foresterie au Québec et à développer des méthodes acceptables pour l'amélioration et la sauvegarde de l'environnement forestier.

Au Québec, les activités du SCF portent sur trois éléments majeurs: la recherche dans le domaine des ressources forestières, la recherche dans le domaine de la protection et enfin, le développement forestier. La plupart des travaux sont entrepris pour répondre aux besoins des organismes intéressés à l'aménagement forestier, surtout dans le but d'améliorer la protection, la croissance et la qualité de la ressource forestière de la région. L'information est diffusée sous forme de rapports scientifiques, de feuillets techniques ou autres publications dans le but d'atteindre toutes les catégories d'utilisateurs des résultats de recherche.

LAURENTIAN FOREST RESEARCH CENTRE

The Laurentian Forest Research Centre (LFRC) is one of six regional establishments of the Canadian Forestry Service (CFS), within Environment Canada. The Centre's objective is to promote, through research and development, the most efficient and rational management and use of Quebec's forest. In cooperation with several Quebec agencies, scientists at LFRC work at solving major forestry problems and develop methods to improve and to protect the forest environment.

In the province of Quebec, CFS's program consists of three major elements: forest resources research, forest protection research, and forest development. Most of the research is undertaken in response to the needs of forest management agencies, with the aim of improving the protection, growth, and quality of the region's forest resource. The results of this research are distributed to potential users through scientific and technical reports and other publications.

Sugar maple [*Acer saccharum*, Marsh.] tree and bole standard volume tables for the Great Lakes - St. Lawrence forest region, Quebec

S. Popovich

Information Report LAU-X-63
1983

Laurentian Forest Research Centre
Canadian Forestry Service
Environment Canada

Additional copies are available at no charge from:
Laurentian Forest Research Centre
Canadian Forestry Service
Environment Canada
1080, route du Vallon
Sainte-Foy, Quebec G1V 4C7

Catalogue No. Fo46-18/63E
ISSN 0703-2196
ISBN 0-662-12978-4

© Minister of Supply and Services Canada, 1983

Aussi disponible en français sous le titre "Tarifs de cubage généraux pour les arbres et les tronçs d'érable à sucre (Acer saccharum, Marsh.), pour la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent, au Québec."

Cover photo: Sugar maple stand with bitternut hickory. (Photo: M. Roberge)

TABLE OF CONTENTS

	Page
ABSTRACT	iii
RÉSUMÉ	iii
INTRODUCTION	1
DATA	2
METHODS	3
Bole volume	3
Bole volume table construction	4
Tree volume	6
Tree volume table construction	7
ACCURACY	7
ACKNOWLEDGEMENTS	7
REFERENCES	8
Figure 1. Map of the Great Lakes - St. Lawrence forest region, Quebec, Forest Sections (L.4b) (L.2) (L.5) (L.3).	2
Appendix 1	9
Table 1. Distribution of sample sugar maple trees by diameter and height classes	11
Table 2. Regression statistics and necessary elements for constructing bole standard volume tables (bark excluded and included) for sugar maple in the Great Lakes - St. Lawrence forest region, Quebec	12
Table 3. Bole volume (m^3) without bark	13
Table 4. Total volume (m^3) without bark (stump and crown included)	14
Table 5. Bole volume (m^3) with bark	15
Table 6. Total volume (m^3) with bark (stump and crown included)	16
Appendix 2 Symbols used in formulas and statistics	17

ABSTRACT

From the 1 023 sugar maple trees sampled (729 felled and 294 measured by the Barr and Stroud dendrometer) the standard bole and tree volume tables in cubic metres were constructed for the Great Lakes - St. Lawrence Forest Region, Quebec.

Four standard volume tables, resulting from the methods which separately take into consideration bole and tree volume with and without bark, are presented. The precision of these tables is exceptionally good, with errors ranging between plus or minus 8.5 and 10.5%.

RÉSUMÉ

À partir des données recueillies sur les 1 023 érables à sucre échantillonnés, dont 729 avaient été mesurés après abattage, et 294 mesurés à l'aide d'un dendomètre de Barr and Stroud, on a établi des tarifs de cubage généraux pour les arbres et les troncs pour la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent, au Québec.

On trouvera dans l'étude quatre tarifs de cubage généraux établis grâce aux méthodes qui prennent en compte, séparément, les volumes d'arbres et de tronc, avec écorce et sans écorce. La précision de ces tarifs est particulièrement bonne, le taux d'erreurs se situant entre plus ou moins 8,5 et 10,5 %.

INTRODUCTION

Sugar maple is one of the largest and most important hardwoods in Quebec and eastern Canada and as such it is a common constituent of the forest throughout most of the Great Lakes - St. Lawrence and the Acadian forest regions (Rowe 1959). This species is not only the principal source of maple sugar and maple syrup but also is one of the most valuable commercial hardwoods. In the forest, it develops a straight trunk free of branches for two-thirds or more of its height (Hosie 1969) therefore, its uses are diversified (furniture, flooring, veneer, plywood, turnery etc.).

In a time when the timber industry must search far and wide to stock its woodpile, the demand for paper products remains high, and in the future more chemicals are likely to come from a wood base instead of petroleum, many forest products companies, to help meet their needs, are turning to owners of small, private woodlots. This trend, among other things, is accompanied with a better and financially more viable outturn from any unit of a forest, introduction and continuation of good management practices, and more rational and integrated use of felled trees. With these considerations in mind, a new approach to the problem of constructing volume tables for sugar maple is tackled in the present study.

This new approach consists of (1) constructing separate tables for the bole volume [1] (presenting the most valuable part of the tree) based on the method which takes into consideration a better estimation of the true stem form (Popovich 1972); (2) evaluating total tree volume including bole volume from the stump to the crown point [2] and that portion of primary and secondary branches larger than the upper diameter limit of 2 cm over bark; and (3) giving the total and bole volumes with and without bark for the Great Lakes - St. Lawrence forest region, Quebec.

---

[1] In this study, the bole volume is the volume of the part of a stem that is free of branches.

[2] The crown point is the position where the bole (stem) starts to disperse into the crown.

DATA

Data used in construction of these tables consisted of tree measurements, which were gathered at various locations and from a variety of sites, ages, and cover types, belonging to the forest sections shown in Figure 1: (1) Algonquin-Pontiac (L.4b); (2) upper St. Lawrence (L.2) (3) Eastern Townships (L.5) and (4) middle St. Lawrence (L.3) of the Great Lakes - St. Lawrence forest region, Quebec (Rowe 1959).

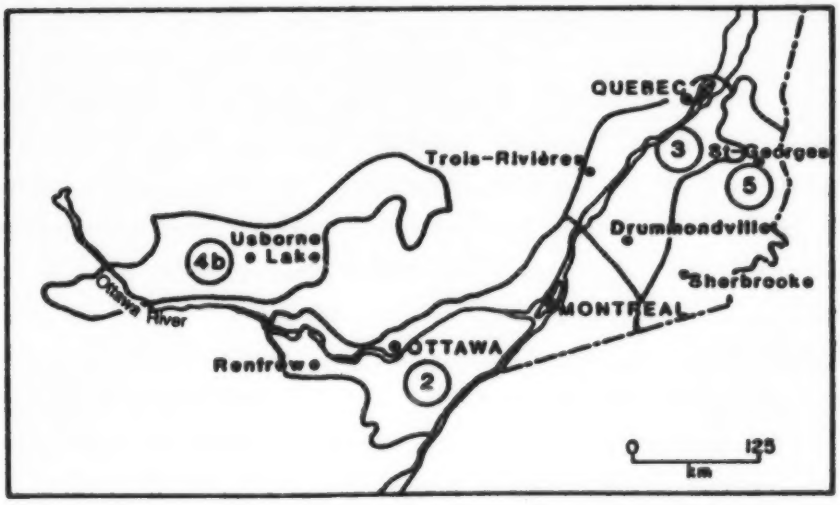


Figure 1. Map of the Great Lakes - St. Lawrence forest region, Quebec, Forest Sections (L.4b) (L.2) (L.5) (L.3).

After eliminating trees lacking some measurements, having low forks or other abnormalities, or apparent errors in recording of data, 1 023 sugar maple trees were available for analysis (Table 1). Seventy percent of these (729 trees) were felled either in commercial cuttings or silvicultural practices (thinning, tending, etc.) and 30% (294 trees) were measured with the Barr and Stroud dendrometer. The following measures were taken on all trees: total height and stem or bole height of trees to the nearest one-tenth of a metre; and diameter inside[3] and outside bark at dbh; stump (d_{0}); 5% ($d_{0.05}$); 10% ($d_{0.1}$); 20% ($d_{0.2}$).....and 90% ($d_{0.9}$) of the bole height to the nearest one-tenth of a centimetre. On 335 sugar maple trees

[3] On the 294 standing trees belonging to the Eastern Townships Forest section the inside bark diameter measurements were only taken at dbh with a Pressler's borer.

with primary and secondary branches larger than the upper diameter limit of 2 cm over bark, the diameters inside and outside bark were taken at the middle point of each measurable section length of one metre.

METHODS

Bole volume

The first step in our approach of constructing sugar maple bole and tree standard volume tables was to find a relationship (a) between inside and outside bark for all trees (samples from standing trees included), and (b) between bole height[4] and total height.

These functional relationships were solved by linear regressions and their coefficients were determined by the least-square method.

Thus for (a)

$$\text{d.i.b.} = -0.21527 + 0.94515\ \text{d.o.b.}$$

$$N = 1180 \qquad r = 0.997 \qquad (1)$$

and for (b)

Great Lakes - St. Lawrence forest region

$$h_{(b)} = -1.11993 + 0.63122\ h$$

$$N = 1023 \qquad r = 0.74 \qquad (2)$$

With the data from the linear regression (1), which served to find the thickness of the bark for sampled standing trees, the volume of

---

[4] Bole height. The distance between ground level and the crown point. The crown point is the position of the first crown-forming living or dead branch. Bole height expresses the height of the clear main stem of a tree (Husch 1963).

the bole of each individual measured tree, with and without bark, was calculated by the Golovatchev (1967) formula.

$$V = \left(\frac{\pi d^2_{g,0.0}}{4} + \frac{\pi d^2_{g,0.1}}{8} + \frac{\pi d^2_{g,0.2}}{4} + \cdots \frac{\pi d^2_{g,0.9}}{4} \right) \cdot \frac{h_{(b)}}{10} \qquad (3)$$

Bole volume table construction

This study presents only the necessary elements for constructing volume tables based on normal form factor (Popovich 1972).

For each sampled tree, with and without bark, normal bole form quotient[5] ($q_{g,0.8}$) and normal form factor[6] ($f_{g,0.1}$) were obtained from the following formulas.

$$a) \quad \frac{d^2_{g,0.8}}{d^2_{g,0.1}} = q^2_{g,0.8/0.1} \qquad (4)$$

$$c) \quad f_{g,0.1} = \frac{q^2_{g,0.0} + \frac{q^2_{g,0.1} + q^2_{g,0.2} + \cdots q^2_{g,0.9}}{2}}{10} \qquad (5)$$

---

[5] The normal bole form quotient is the ratio between diameter at one-half bole or stem height and diameter at one-tenth bole height.

[6] The normal bole form factor is defined as the ratio between the volume of a bole or stem and the volume of a cylinder of equal height, with reference diameter taken at one-tenth of a bole height (Popovich 1972).

To obtain the elements necessary (mathematical expressions) when calculating the general formula giving the total volume of the bole in cubic metres with and without bark (Table 2), three linear regression analysis were made, each of which quantified the relationships and estimated the degree of correlation between dbh and $d_{0,1}$; dbh and $d_{0,8}$; and $q_{0,8}$ and $f_{0,1}$ (calculated by formulas 4 and 5). These regressions and elements, for calculating the general formula for boles without bark for trees of the St. Lawrence forest region are:

a) $\overline{dhp} = 30.1$

b) $\overline{d_{0,1}} = 0.51943 + 0.94517 \ \overline{dhp} = 29.0$

c) $\overline{d_{0,8}} = -0.16670 + 0.80300 \ dhp = 24.0$

d) $\overline{q_{0,8}} = \dfrac{\overline{d_{0,8}}}{\overline{d_{0,1}}} = 0.8272$

e) $\overline{f_{0,1}} = -0.17798 + 1.05138 \ \overline{q_{0,8}} = 0.6918$

f) Ratio between $\overline{q_{0,8}}$ and $\overline{f_{0,1}}$ = F = 1.1957

g) Parameter $A = \dfrac{\pi}{4F} \cdot \overline{q_{0,8}} = 0.54334$

h) $V = A. \ (d_{0,1})^2 \ . \ h_{(t)}$

i) $Vm^3 = 0.54334 \ (0.51943 + 0.94517)^2 \ . \ h_{(t)}$

Tree volume

The volume of an entire tree is the sum of the bole volume plus that of the branches forming the crown.

The volume of all primary and secondary branches measurable in section lengths of 1 m was calculated by the Huber's formula (Husch 1963). The bulk quantity of relatively small pieces of irregular wood was measured as a stacked cubic metre in a calibrated rick. This loose volume (bark included) was converted into solid volume (m^3) taking into account that one stere equalizes 0.20 m^3 (Baur in Emrovic 1949).

The volume of the branches for each of the individual sampled trees was determined using the formula of constant form factor (Spurr 1952):

$$V_{(br.)} = b_g \cdot \left(\frac{dbh}{100}\right)^2 \cdot h \qquad (6)$$

Without and with bark these expressions are[7]:

$$V_{(br.)} = 0.093287 \left(\frac{dbh}{100}\right)^2 \cdot h \qquad (7)$$

$$N = 335 \text{ trees}$$

$$V\ (br.b.i.) = 0.111123 \left(\frac{dbh}{100}\right)^2 \cdot h \qquad (8)$$

$$N = 335 \text{ trees}$$

Adding to the each individual bole volume (bark excluded and included) the volume of branches calculated from the formulas 7 and 8, the complete volume for each of 1 023 sampled trees was obtained.

---

7 The precision of formula (7) was estimated by the method of testing accuracy (Freese 1960) between actual and estimated values of dependent variables, in this case, the volume of the volume table. Thus, chi-square values at the 0.05 probability level for 335 degrees of freedom is 339.1 (the table value is 378.4). The estimated value is within plus or minus 12.2% of the true value.

Tree volume table construction

Since the tree height and dbh are the two independent variables dealt with in practically all volume table research (Spurr 1952; Husch 1963), in this work the volume as a dependent variable was put as a function of these two variables. Hence, the same type of equation as formula (6) was used for the total standard volume tables (stump and top included) construction.

This equation is:

$$V = b_s \cdot \left(\frac{dbh}{100}\right)^2 \cdot h$$

ACCURACY

Accuracy limits are shown for each bole and tree total cubic metre volume table and were computed according to Freeze (1960). The limits at the 5% probability level are shown in percentages.

In tables 3, 4, 5, and 6, the blocks indicate the extent of basic data which were comprised by the chi-square tests. For the data used in constructing the table, the tabular volume estimates are within plus or minus P % of the true volume e.g., the tabular estimates of the bole cubic volume (m^3) without bark for Great Lakes - St. Lawrence forest region, Quebec, was within plus or minus 10.5% of the true volume 95% of the time.

ACKNOWLEDGEMENTS

I wish to express my sincere thanks to the following: Consolidated-Bathurst, McLaren, CIP Inc., Domtar, and in particular the Department of Energy and Resources, Quebec, and also the Department of Transport, Canada, for facilitating our work in gathering the data for construction of the volume tables for sugar maple.

REFERENCES

Emrovic, B. 1949. Dendrometrija [Dendrometry] Mali sumarsko tehnicki prirucnik (I) [In Serbo-Croatian] Zagreb, Yugoslavia.

Freeze, F. 1960. Testing Accuracy. For. Sci. 6(2):139-145.

Golovatchev, A.S. 1967. Novii sposob sastavlenia obiomnih tablitz drevesnih stvolov. [New method of constructing volume tables] [In Russian] Lesnoi Zhurnal No. 5. Izvestia vischih zavedenii. Arhangel'sk. 64-70.

Hosie, R.C. 1969. Native Trees of Canada. Can. For. Serv., Dep. Fish. For., Queen's Printer for Canada. Ottawa, Ont.

Husch, B. 1963. Forest Mensuration and Statistics. The Ronald Press Co. New York, N.Y.

Popovich, S. 1972. Total cubic volume tables for white spruce plantations, Drummondville, Quebec. Can. For. Serv., Laurentian For. Res. Cent. Ste-Foy, Qué. Q-X-28.

Rowe, J.S. 1959. Forest Regions of Canada. Can. Dept. North. Aff. Nat. Res., For. Br., Bull. 123.

Spurr, S.H. 1952. Forest Inventory. The Ronald Press Co. New York, N.Y.

Appendix 1

Table 1. Distribution of sample sugar maple trees by diameter and height classes

DBH (cm)	Total height (m)																				Total dbh
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
15	2	1	3	6	16	18	16	17	7	9	5	3									103
20			1	3	8	12	34	18	25	30	13	7	9	3	2						165
25			1		2	6	32	34	36	31	28	20	19	4	4		1	1	1		220
30				1	2	3	10	19	24	19	25	18	24	7	10	1	2				165
35					1	1	3	16	14	17	15	17	14	13	18	5	1				135
40							3	6	14	6	14	10	11	8	10	5	1	1	1		90
45								1	6	4	12	10	10	8	6	7	2	2	2	2	72
50							1		2	5	5	7	5	4	1	4		2			36
55									1	2		1	2	2	5	5	2	1	1		22
60											1		1	1	2	2	2	1			10
65											1			1	1		1		1		5
Total	2	1	5	10	29	40	99	111	129	123	119	93	95	51	59	29	12	8	6	2	1 023

Table 2. Regression statistics and necessary elements for constructing bole standard volume tables (bark excluded and included) for sugar maple in the Great Lakes - St. Lawrence forest region, Quebec

a) $d_{g,1}$ (i.b.) = $b_g + b_1 \cdot$ dbh

b) $d_{g,3}$ (i.b.) = $b_g + b_1 \cdot$ dbh

c) $f_{g,1}$ (i.b.) = $b_g + b_1 \cdot q_{g,3}$ (i.b.)

Forest region		Regression coefficients b_g	b_1	r	N	$\overline{dbh}$*	F	A	$A \cdot q_{g,3}$
Great Lakes-	a.	0.51943	0.94517	0.99	1023				
St. Lawrence	b.	-0.16670	0.80300	0.97	1023	30.1	1.196	0.657	0.544
Québec	c.	-0.17798	1.05138	0.93	1023				

a) $d_{g,1}$ (o.b.) = $b_g + b_1 \cdot$ dbh

b) $d_{g,3}$ (o.b.) = $b_g + b_1 \cdot$ dbh

c) $f_{g,1}$ (o.b.) = $b_g + b_1 \cdot q_{g,3}$ (o.b.)

		Regression coefficients b_g	b_1	r	N	$\overline{dbh}$*	F	A	$A \cdot q_{g,3}$
Great Lakes-	a.	0.78518	0.99979	0.99	1023				
St. Lawrence	b.	0.23463	0.84359	0.97	1023	30.1	1.195	0.657	0.544
Québec	c.	-0.17898	1.05264	0.93	1023				

*$\overline{dbh}$ = average diameter at breast height.

Table 3. Bole volume (m^3) without bark

DBH class cm	Total height classes (m) 12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Bole height classes (m) 6.5	7.1	7.7	8.3	9.0	9.6	10.2	10.9	11.5	12.1	12.8	13.4	14.0
15	0.076	0.083	0.090	0.097	0.106	0.113	0.120	0.128	0.135				
20	0.133	0.146	0.158	0.170	0.184	0.197	0.209	0.223	0.236	0.248	0.262	0.275	0.287
25	0.206	0.225	0.244	0.263	0.285	0.304	0.323	0.345	0.364	0.383	0.406	0.425	0.444
30	0.294	0.322	0.349	0.376	0.408	0.435	0.462	0.494	0.521	0.548	0.580	0.607	0.634
35		0.436	0.472	0.509	0.552	0.589	0.626	0.669	0.705	0.742	0.785	0.822	0.859
40		0.567	0.615	0.662	0.718	0.766	0.814	0.870	0.918	0.966	1.022	1.069	1.117
45				0.836	0.906	0.967	1.027	1.097	1.158	1.219	1.289	1.349	1.410
50					1.116	1.191	1.265	1.352	1.426	1.501	1.588	1.662	1.736
55					1.348	1.438	1.528	1.633	1.722	1.812	1.917	2.007	2.097
60									2.046	2.153	2.278	2.385	2.491
65									2.398	2.524	2.670	2.795	2.920

N = 1 023 trees. Accuracy at the 5% level. + or - 10.5%.

$$V_{(b)} = \left(\frac{0.14660 + 0.53351\ (dbh) + 0.48539\ (dbh)^2}{10\ 000} \right) . \ h_{(b)}.$$

Table 4. Total volume (m^3) without bark
(stump and crown included)

DBH class cm	Total height classes (m)												
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
15	0.102	0.110	0.119	0.127	0.136	0.144	0.153	0.161	0.170				
20	0.181	0.196	0.211	0.226	0.241	0.256	0.271	0.287	0.302	0.317	0.332	0.347	0.362
25	0.283	0.306	0.330	0.354	0.377	0.401	0.424	0.448	0.471	0.495	0.518	0.542	0.566
30	0.407	0.441	0.475	0.509	0.543	0.577	0.611	0.645	0.679	0.713	0.747	0.781	0.814
35		0.600	0.647	0.693	0.739	0.785	0.831	0.878	0.924	0.970	1.016	1.062	1.109
40		0.784	0.845	0.905	0.965	1.026	1.086	1.146	1.207	1.267	1.327	1.388	1.448
45				1.145	1.222	1.298	1.374	1.451	1.527	1.604	1.680	1.756	1.833
50					1.508	1.603	1.697	1.791	1.885	1.980	2.074	2.168	2.262
55					1.825	1.939	2.053	2.167	2.281	2.395	2.509	2.624	2.738
60									2.715	2.851	2.986	3.122	3.258
65									3.186	3.346	3.505	3.664	3.824

N = 1 023 trees. Accuracy at the 5% level. + or - 9.5%

$$V = 0.37708 \left(\frac{dbh}{100}\right)^2 . h.$$

Table 5. Bole volume (m^3) with bark

DBH class cm	Total height classes (m) 12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Bole height classes (m) 6.5	7.1	7.7	8.3	9.0	9.6	10.2	10.9	11.5	12.1	12.8	13.4	14.0
15	0.088	0.096	0.104	0.113	0.122	0.130	0.138	0.148	0.156				
20	0.153	0.167	0.181	0.195	0.212	0.226	0.240	0.256	0.270	0.284	0.301	0.315	0.329
25	0.235	0.257	0.279	0.300	0.326	0.347	0.369	0.394	0.416	0.438	0.463	0.485	0.507
30	0.335	0.366	0.397	0.428	0.464	0.495	0.526	0.562	0.593	0.624	0.660	0.691	0.722
35		0.495	0.537	0.578	0.627	0.669	0.711	0.760	0.801	0.843	0.892	0.934	0.976
40		0.643	0.677	0.751	0.815	0.869	0.923	0.987	1.041	1.095	1.159	1.213	1.267
45				0.947	1.027	1.095	1.164	1.244	1.312	1.380	1.460	1.529	1.597
50					1.263	1.347	1.432	1.530	1.614	1.698	1.797	1.881	1.965
55					1.524	1.626	1.727	1.846	1.948	2.049	2.168	2.269	2.371
60									2.312	2.433	2.574	2.694	2.815
65									2.708	2.850	3.015	3.156	3.297

N = 1 023 trees. Accuracy at the 5% level. + or - 9.6%.

$$V_{(b)} = \left(\frac{0.33565 + 0.85479\ (dbh) + 0.54421\ (dbh)^2}{10\ 000} \right) . \ h_{(b)}.$$

Table 6. Total volume (m^3) with bark (stump and crown included)

DBH class cm	Total height classes (m)												
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
15	0.117	0.127	0.137	0.146	0.156	0.166	0.176	0.186	0.195				
20	0.208	0.226	0.243	0.260	0.278	0.295	0.312	0.330	0.347	0.365	0.382	0.399	0.417
25	0.325	0.353	0.380	0.407	0.434	0.461	0.488	0.515	0.542	0.570	0.597	0.624	0.651
30	0.469	0.508	0.547	0.586	0.625	0.664	0.703	0.742	0.781	0.820	0.859	0.898	0.937
35		0.691	0.744	0.797	0.851	0.904	0.957	1.010	1.063	1.116	1.169	1.223	1.276
40		0.903	0.972	1.041	1.111	1.180	1.250	1.319	1.389	1.458	1.527	1.597	1.666
45				1.318	1.406	1.494	1.582	1.670	1.757	1.845	1.933	2.021	2.109
50					1.736	1.844	1.953	2.061	2.170	2.278	2.387	2.495	2.604
55					2.100	2.232	2.363	2.494	2.625	2.757	2.888	3.019	3.150
60									3.124	3.281	3.437	3.593	3.749
65									3.667	3.850	4.033	4.217	4.400

N = 1 023 trees. Accuracy at the 5% level. + or - 8.5%.

$$V = 0.40394 \left(\frac{dbh}{100}\right)^2 . h.$$

Appendix 2

Symbols used in formulas and statistics

b_0; b_1; b_2 = regression coefficients

dbh = diameter at breast height

$\overline{dbh}$ = average diameter at breast height

d.i.b. = diameter inside bark

d.o.b. = diameter outside bark

d_0 (o.b.); $d_{0,3}$ (o.b.); $d_{0,1}$ (o.b.); $d_{0,2}$ (o.b.)...$d_{0,9}$ (o.b.) = diameters outside bark at stump, 5, 10, 20 ... and 90% of the bole height $h_{(b)}$

d_0 (i.b.); $d_{0,3}$ (i.b.); $d_{0,1}$ (i.b.); $d_{0,2}$ (i.b.)... $d_{0,9}$(i.b.) = diameters inside bark at stump 5, 10, 20 ... and 90% of the bole height $h_{(b)}$

$f_{0,1}$ = the normal bole form factor

h = tree height

$h_{(b)}$ = bole height

$q_{0,3}$ = the normal bole form quotient

N = Size of population

r = correlation coefficient

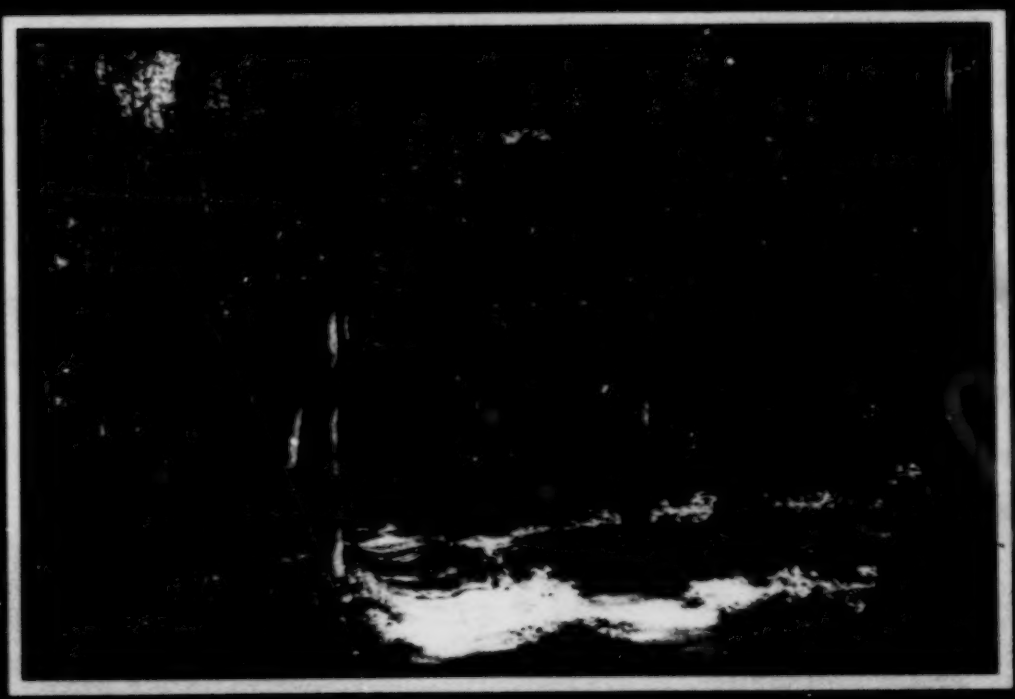
χ^2 = chi-square

Environnement Canada
Service canadien des forets

Environment Canada
Canadian Forestry Service

Tarifs de cubage generaux pour les arbres et les troncs d'erable a sucre (*Acer saccharum* Marsh.) pour la region forestiere des Grands Lacs et du Saint-Laurent, au Quebec

Environment Canada Environnement Canada
0016024G VOL ISS 63 1983
EXC # 001
SB 761 C328
RAPPORT D'INFORMATION (CENTRE DE RE
CHERCHES FORESTIERES DES LAURENTIDE
OOFF



CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES DES LAURENTIDES

Le Centre de recherches forestières des Laurentides (CRFL) est un des six établissements régionaux du Service canadien des forêts (SCF), au sein d'Environnement Canada. Le Centre poursuit des travaux de recherche et de développement pour un aménagement et une utilisation plus rationnels des ressources forestières du Québec. En collaboration avec divers groupes et organismes québécois, les chercheurs du CRFL visent à solutionner les problèmes majeurs en foresterie au Québec et à développer des méthodes acceptables pour l'amélioration et la sauvegarde de l'environnement forestier.

Au Québec, les activités du SCF portent sur trois éléments majeurs: la recherche dans le domaine des ressources forestières, la recherche dans le domaine de la protection et enfin, le développement forestier. La plupart des travaux sont entrepris pour répondre aux besoins des organismes intéressés à l'aménagement forestier, surtout dans le but d'améliorer la protection, la croissance et la qualité de la ressource forestière de la région. L'information est diffusée sous forme de rapports scientifiques, de feuillets techniques ou autres publications dans le but d'atteindre toutes les catégories d'utilisateurs des résultats de recherche.

LAURENTIAN FOREST RESEARCH CENTRE

The Laurentian Forest Research Centre (LFRC) is one of six regional establishments of the Canadian Forestry Service (CFS), within Environment Canada. The Centre's objective is to promote, through research and development, the most efficient and rational management and use of Quebec's forest. In cooperation with several Quebec agencies, scientists at LFRC work at solving major forestry problems and develop methods to improve and to protect the forest environment.

In the province of Quebec, CFS's program consists of three major elements: forest resources research, forest protection research, and forest development. Most of the research is undertaken in response to the needs of forest management agencies, with the aim of improving the protection, growth, and quality of the region's forest resource. The results of this research are distributed to potential users through scientific and technical reports and other publications.

Tarifs de cubage généraux pour les arbres et les troncs d'érable à sucre [*Acer saccharum*, Marsh.] pour la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent, au Québec

S. Popovich

Rapport d'information LAU-X-63F
1983

Centre de recherches forestières des Laurentides
Service canadien des forêts
Environnement Canada

Des exemplaires vous sont offerts gratuitement au:
Centre de recherches forestières des Laurentides
Service canadien des forêts
Environnement Canada
1080, route du Vallon
C.P. 3 800
Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7

N° de catalogue Fo46-18/63F
ISSN 0703-2196
ISBN 0-662-92431-2

©Ministère des Approvisionnements et Services Canada, 1983

This publication is also available in English under the title "Sugar Maple (Acer saccharum, Marsh.) tree and bole standand volume tables for the Great Lakes - St. Lawrence forest region, Quebec."

Photo couverture: Érablière à caryer. (Photo: M. Roberge)

TABLE DES MATIÈRES

	Page
RÉSUMÉ	ii
ABSTRACT	ii
INTRODUCTION	1
DONNÉES	2
MÉTHODES	3
Volume de tronc	3
Construction des tarifs de cubage des troncs	4
Volume de l'arbre	6
Construction des tarifs de cubage	7
PRÉCISION	8
REMERCIEMENTS	8
RÉFÉRENCES	8
Figure 1. Carte de la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent, Québec, secteurs (L.4b) (L.2) (L.5) (L.3)	2
Annexe 1	11
Tableau 1. La distribution des arbres échantillons de l'érable à sucre selon les classes de diamètre et de hauteur	13
Tableau 2. Statistiques de régressions et éléments nécessaires pour la construction des tarifs de cubage généraux des troncs (avec et sans écorce) d'érable à sucre pour la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent au Québec	14
Tableau 3. Volume du tronc (m^3) sans écorce	15
Tableau 4. Volume total (m^3) sans écorce (Souches et houppiers inclus)	16
Tableau 5. Volume du tronc (m^3) avec écorce	17
Tableau 6. Volume total (m^3) avec écorce	18
Annexe 2 Les symboles utilisés	19

RÉSUMÉ

À partir des données recueillies sur les 1 023 érables à sucre échantillonnés, dont 729 avaient été mesurés après abattage et 294 mesurés à l'aide d'un dendromètre de Barr and Stroud, on a établi des tarifs de cubage généraux pour les arbres et les troncs pour la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent, au Québec.

On trouvera dans l'étude quatre tarifs de cubage généraux établis grâce aux méthodes qui prennent en compte, séparément, les volumes d'arbres et de tronc, avec écorce et sans écorce. La précision de ces tarifs est particulièrement bonne, le taux d'erreurs se situant entre plus ou moins 8,5 et 10,5 %.

ABSTRACT

From the 1 023 sugar maple trees sampled (729 felled and 294 measured by the Barr and Stroud dendrometer), the standard bole and tree volume tables in cubic metres were constructed for the Great Lakes - St. Lawrence Forest Region, Quebec.

Four standard volume tables, resulting from the methods which separately take into consideration bole and tree volume with and without bark, are presented. The precision of these tables is exceptionally good, with errors ranging between 8.5 and 10.5%.

INTRODUCTION

L'érable à sucre est l'un des feuillus les plus répandus et les plus importants au Québec et dans l'Est du Canada; il s'agit d'une essence que l'on rencontre fréquemment dans la plus grande partie de la région forestière Acadienne, des Grands Lacs et du Saint-Laurent (Rowe 1959). Non seulement cette espèce est-elle la principale source d'où proviennent le sirop et le sucre d'érable, mais elle constitue en outre un des bois durs commerciaux les plus précieux. En effet, cet arbre acquiert, dans la forêt, un tronc qui forme au moins les deux tiers de sa hauteur (Hosie 1969); par conséquent, on l'utilise à des fins diverses: ébénisterie, parquetage, placage, contreplacage, tournage et bien d'autres encore.

À une époque où l'industrie du bois doit chercher par tous les moyens à se constituer des stocks, où la demande de produits du papier demeure élevée et où les perspectives d'avenir laissent présager qu'un nombre croissant de produits chimiques seront dérivés du bois au lieu de provenir du pétrole, beaucoup de compagnies forestières se tournent maintenant vers les propriétaires de petits boisés pour combler leurs besoins. Cette tendance, entre autres, s'accompagne d'un rendement meilleur et plus rentable dans le cas de chaque parcelle de boisé, de bonnes pratiques de gestion et d'une utilisation intégrée et rationnelle des arbres abattus. C'est avec ces considérations présentes à l'esprit que nous avons utilisé, aux fins de la présente étude, une nouvelle façon d'aborder la construction de tarifs de cubage généraux pour l'érable à sucre.

Cette nouvelle méthode comporte trois volets: (1) on établit des tarifs distincts pour le volume des troncs[1] (qui représentent la partie la plus précieuse de l'arbre), d'après une meilleure estimation de la forme réelle de la tige (Popovich 1972); (2) on évalue le volume total des

---

[1] Pour la présente étude, le volume de tronc est le volume de la partie de la tige exempte de branches.

arbres, y compris le volume du tronc, (depuis la souche jusqu'à la base de la cime[2]) et le volume de la partie des branches primaires et secondaires, dont le diamètre avec écorce est supérieur à 2 cm; (3) on donne le volume total et le volume de tronc, avec et sans écorce, pour la partie de la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent, appartenant à la province de Québec.

DONNÉES

Les données qui ont servi de base pour la construction des tarifs consistaient en des mesures d'arbres, recueillies à divers endroits, dans diverses qualités de station pour des arbres d'âges différents et sous des couverts de divers types de forêts dans les secteurs forestiers que donne la figure 1: (1) Algonquin-Pontiac (L.4b); (2) le Haut-Saint-Laurent (L.2); (3) les Cantons de l'Est (L.5); et (4) le moyen Saint-Laurent (L.3) de la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent, au Québec (Rowe 1959).

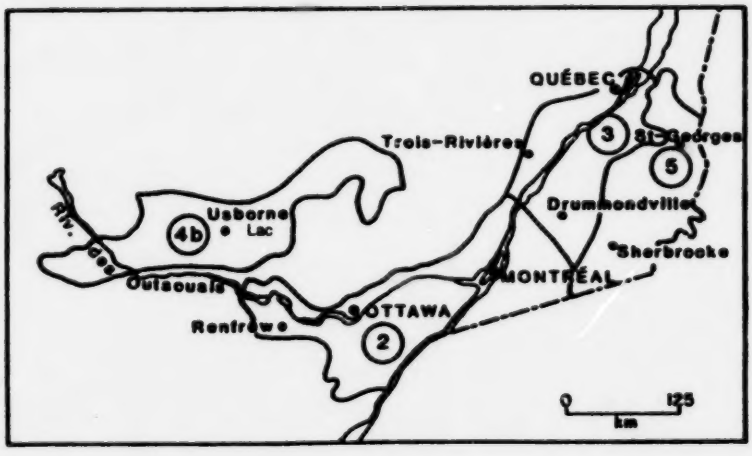


Figure 1. Carte de la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent, Québec, secteurs (L.4b) (L.2) (L.5) (L.3).

Après avoir éliminé certains arbres pour lesquels on ne disposait pas de toutes les mesures nécessaires, dont les fourches étaient trop basse, qui présentaient des anomalies évidentes, ou pour lesquels on avait

---

2 La base de la cime est le point de l'arbre où le tronc (ou la tige) commence à se disperser dans le houppier.

manifestement commis des erreurs dans l'enregistrement des données, il restait 1 023 érables à sucre qui pouvaient servir aux fins de l'analyse (Tableau 1). De ces arbres, 70 % (729 érables), avaient été abattus à des fins commerciales ou de sylviculture (coupe d'entretien, éclaircie, etc.) et 30 % (294 érables) furent mesurés à l'aide d'un dendromètre Barr and Stroud. Pour chacun des arbres, on a relevé les mesures suivantes: au plus proche décimètre: la hauteur totale de l'arbre, la hauteur du tronc ou de la tige de l'arbre, et au plus proche centimètre: les diamètres avec et sans écorce[3], à hauteur de poitrine: à la souche (d_0) à 5 % ($d_{0,05}$) à 10 % ($d_{0,1}$), à 20 % ($d_{0,2}$).... et à 90 % ($d_{0,9}$) de la hauteur du tronc. Les branches du houppier des arbres ont été mesurés sur 335 érables à sucre abattus. Ainsi, toutes les branches primaires et secondaires ayant le diamètre minimal de 2 cm au fin bout, furent mesurées avec et sans écorce à la mi-section sur chacune des longueurs mesurables d'un mètre.

MÉTHODES

Volume de tronc

La première étape de la méthode que nous avons utilisée pour établir les tarifs de cubage généraux des arbres et des troncs d'érable à sucre consistait à trouver une relation (a) entre le diamètre avec écorce et le diamètre sans écorce, pour tous les arbres (les arbres échantillons sur pied, également), et (b) entre la hauteur du tronc[4] et la hauteur totale de chaque arbre.

Ces relations fonctionnelles furent résolues par des régressions linéaires et leurs coefficients furent déterminés en utilisant la méthode des moindres carrés.

---

3 Des 294 arbres sur pied du secteur forestier des Cantons de l'Est, la mesure du diamètre sans écorce s'est faite uniquement à hauteur de poitrine à l'aide d'une sonde de Pressler.

4 Hauteur du tronc. La distance entre le niveau du sol et la base de la cime. La base de la cime est l'endroit où se trouvent les premières branches, mortes ou vivantes. Par hauteur du tronc, on entend la hauteur de la partie de la tige libre de branches.

Par conséquent, pour (a)

$$d.s.e. = -0,21527 + 0,94515\ d.\varepsilon.e.$$
$$N = 1180 \qquad r = 0,997 \qquad (1)$$

et pour (b)

Région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent

$$h_{(t)} = -1,11993 + 0,63122\ h$$
$$N = 1023 \qquad r = 0,74 \qquad (2)$$

À partir des données obtenues au moyen de la régression linéaire (1), qui a servi à déterminer l'épaisseur de l'écorce des arbres échantillons sur pied, on a calculé, à l'aide de la formule de Golovatchev (1967) le volume du tronc de chaque arbre, avec et sans écorce.

$$V = \left(\frac{\pi d^2_{0,03}}{4} + \frac{\pi d^2_{0,1}}{8} + \frac{\pi d^2_{0,2}}{4} + \ldots \frac{\pi d^2_{0,9}}{4} \right) \cdot \frac{h_{(t)}}{10} \qquad (3)$$

Construction des tarifs de cubage des troncs

L'étude ne donne que les éléments nécessaires pour construire les tarifs de cubage basés sur le coefficient de forme réelle (Popovich 1972).

Pour chaque arbre échantillon, avec et sans écorce, on a obtenu le coefficient de décroissance réelle[5] ($q_{0,3}$) et le coefficient de

---

5 Le coefficient de décroissance réelle du tronc est le rapport entre le diamètre à mi-hauteur du tronc ou de la tige et le diamètre au dixième de la hauteur du tronc.

forme réelle[6] ($f_{\phi,1}$) avec les formules suivantes:

$$a) \quad \frac{d^2_{\phi,3}}{d^2_{\phi,1}} = q^2_{\phi,3/\phi,1} \qquad (4)$$

$$c) \quad f_{\phi,1} = \frac{q^2_{\phi,\phi 3} + \frac{q^2_{\phi,1}}{2} + q^2_{\phi,2} + \cdots q^2_{\phi,3}}{10} \qquad (5)$$

On a fait trois analyses de régression linéaire, chacune permettant de donner une valeur mathématique à la relation qui existe entre dhp et $d_{\phi,1}$; dhp et $d_{\phi,3}$; et $q_{\phi,3}$ et $f_{\phi,1}$ (calculés avec les formules 4 et 5), et évaluer le degré de corrélation entre ces mêmes valeurs, pour obtenir les éléments nécessaires (sous la forme d'expressions mathématiques) afin de calculer la formule générale donnant le volume total des troncs en mètres cubes et sans écorce (tableau 2).

Par exemple, ces régressions et éléments pour calculer la formule générale pour les troncs des arbres, sans écorce, de la région forestière du Saint-Laurent, sont:

a) $\overline{dhp} = 30,1$

b) $\overline{d_{\phi,1}} = 0,51943 + 0,94517 \ \overline{dhp} = 29,0$

c) $\overline{d_{\phi,3}} = - 0,16670 + 0,80300 \ \overline{dhp} = 24,0$

---

6 Le coefficient de forme réelle du tronc est le rapport entre le volume d'un tronc ou d'une tige et le volume d'un cylindre de même hauteur dont le diamètre de référence est égal au diamètre mesuré au dixième de la hauteur du tronc (Popovich 1972).

d) $\overline{q_{0,3}} = \dfrac{\overline{d_{0,3}}}{\overline{d_{0,1}}} = 0,8272$

e) $\overline{f_{0,1}} = -0,17798 + 1,05138\ \overline{q_{0,3}} = 0,6918$

f) Le rapport entre $\overline{q_{0,3}}$ et $\overline{f_{0,1}}$ = F = 1,1957

g) Le paramètre $A = \dfrac{\pi}{4F} \cdot \overline{q_{0,3}} = 0,54334$

h) $V = A. (d_{0,1})^2 \cdot h_{(t)}$

i) $Vm^3 = 0,54334\ (0,51943 + 0,94517)^2 \cdot h_{(t)}$

Volume de l'arbre

Dans cette étude, le volume d'un arbre tout entier est la somme du volume du tronc et du volume des branches qui forment le houppier.

Le volume de toutes les branches, primaires et secondaires, furent mesurées par section d'un mètre de longueur selon la formule de Huber (Husch 1963). La masse de branchage irrégulier fut mesurée en volume apparent. Ce volume (écorce incluse) fut converti en mètres cubes considérant qu'un mètre apparent égale 0,20 m^3 (Baur in Emrovic 1949).

Le volume des branches pour chaque arbre échantillon fut estimé en utilisant la formule de coefficient de forme constante (Spurr 1952), dont la formule est:

$$V_{(Br.)} = b_0 \cdot \left(\frac{dhp}{100}\right)^2 \cdot h \qquad (6)$$

Ainsi, les formules pour l'érable à sucre (avec et sans écorce) deviennent[7]:

$$V\ (Br.) = 0{,}093287 \left(\frac{dhp}{100}\right)^2 . h \qquad (7)$$

N = 335 arbres

$$V\ (Br.a.e.) = 0{,}111123 \left(\frac{dhp}{100}\right)^2 . h \qquad (8)$$

N = 335 arbres

En ajoutant au volume du tronc celui des branches (avec et sans écorce) calculé par les formules 7 et 8, les volumes totaux furent obtenus pour 1 023 érables à sucre.

Construction des tarifs de cubage

Comme le diamètre à hauteur de poitrine et la hauteur de l'arbre sont les deux variables indépendantes qui ont été utilisées dans presque tous les travaux de recherche sur les tarifs de cubage (Spurr 1952; Hush 1963), le volume, comme variable dépendante, a été exprimé en fonction de ces deux variables dans le présent travail. Par conséquent, on a utilisé le même type d'équation que pour la formule (6) dans le cas de la construction des tarifs de cubage généraux des arbres (souche et houppier inclus).

Cette équation est:

$$V = b_0 . \left(\frac{dhp}{100}\right)^2 . h$$

---

7 La précision de la formule (7) fut estimée selon le test de Freeze (1960), entre les valeurs réelles et estimées; ces dernières étant les volumes de la table. Ainsi, la valeur Khi-deux au niveau de 0,05 probabilité avec 335 degrés de liberté est de 339,1 (alors que la valeur de la table est de 378,4). En fait, les valeurs estimées sont à plus ou moins 12,2 % de la valeur réelle.

PRÉCISION

Les limites de la précision sont données pour chaque tarif de cubage des arbres et des troncs. Ces limites de précision ont été calculées selon les méthodes préconisées par Freeze (1960). On a exprimé en pourcentage les limites au niveau de probabilité de 5 %.

Pour les tableaux 3, 4, 5 et 6, les blocs indiquent l'étendue des données de base sur lesquelles portaient les tests de Khi-deux. Pour les données utilisées dans la construction du tarif, les estimations du cubage données par le tarif se situent à plus ou moins P % du cubage réel; ainsi, les estimations données par le volume de tronc sans écorce (en m^3) pour la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent, se situent à plus ou moins 10,5 % du volume réel, 95 % du temps.

REMERCIEMENTS

Je désire exprimer mes sincères remerciements aux sociétés et organismes suivants, dont la généreuse collaboration a facilité la collecte des données en vue de l'établissement des tarifs de cubage pour l'érable à sucre: Consolidated-Bathurst, McLaren, CIP Inc., Domtar et, en particulier, le ministère de l'Énergie et des Ressources du gouvernement du Québec et le ministère des Transports du Canada.

RÉFÉRENCES

Emrovic, B. 1949. Dendrometrija [Dendrometry] Mali sumarsko tehnicki prirucnik (I) [En serbo-croate] Zagreb, Yugoslavia.

Freeze, F. 1960. Testing Accuracy. For. Sci. 6(2):139-145.

Golovatchev, A.S. 1967. Novii sposob sastavlenia obiomnih tablitz drevesnih stvolov. [New method of constructing volume tables] [En russe] Lesnoi Zhurnal No. 5. Izvestia vischih zavedenii. Arhangel'sk. 64-70.

Hosie, R.C. 1969. Les arbres indigènes du Canada. Serv. Can. For., Minist. Pêches For., Imprimeur de la Reine. Ottawa, Ont.

Husch, B. 1963. Forest Mensuration and Statistics. The Ronald Press Co. New York, N.Y.

Popovich, S. 1972. Total cubic volume tables for white spruce plantations, Drummondville, Quebec. Can. For. Serv., Laurentian For. Res. Cent., Ste-Foy, Qué. Q-X-28.

Rowe, J.S. 1959. Forest Regions of Canada. Can. Dept. North. Aff. Nat. Res., For. Br. Bull. 123.

Spurr, S.H. 1952. Forest Inventory. The Ronald Press Co. New York, N.Y.

Annexe 1

Tableau 1. La distribution des arbres échantillons de l'érable à sucre selon les classes de diamètre et de hauteur

dhp (cm)	Hauteur totale (m)																				Total dhp
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
15	2	1	3	6	16	18	16	17	7	9	5	3									103
20			1	3	8	12	34	18	25	30	13	7	9	3	2						165
25			1		2	6	32	34	36	31	28	20	19	4	4		1	1	1		220
30				1	2	3	10	19	24	19	25	18	24	7	10	1	2				165
35					1	1	3	16	14	17	15	17	14	13	18	5	1				135
40							3	6	14	6	14	10	11	8	10	5	1	1	1		90
45								1	6	4	12	10	10	8	6	7	2	2	2	2	72
50							1		2	5	5	7	5	4	1	4		2			36
55									1	2		1	2	2	5	5	2	1	1		22
60											1		1	1	2	2	2	1			10
65											1			1	1		1		1		5
Total	2	1	5	10	29	40	99	111	129	123	119	93	95	51	59	29	12	8	6	2	1 023

Tableau 2. Statistiques de régressions et éléments nécessaires pour la construction des tarifs de cubage généraux des troncs (avec et sans écorce) d'érable à sucre pour la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent, au Québec

a) $d_{g,1}$ (s.e.) = $b_0 + b_1 \cdot$ dhp

b) $d_{g,2}$ (s.e.) = $b_0 + b_1 \cdot$ dhp

c) $f_{g,1}$ (s.e.) = $b_0 + b_1 \cdot q_{g,2}$ (s.e.)

Régions forestières	Coefficients des régressions							
	b_0	b_1	r	N	$\overline{dhp}$*	F	A	$A \cdot q_{g,2}$
Grands Lacs	a. 0,51943	0,94517	0,99	1023				
Saint-Laurent	b. -0,16670	0,80300	0,97	1023	30,1	1,196	0,657	0,544
Québec	c. -0,17798	1,05138	0,93	1023				

a) $d_{g,1}$ (a.e.) = $b_0 + b_1 \cdot$ dhp

b) $d_{g,2}$ (a.e.) = $b_0 + b_1 \cdot$ dhp

c) $f_{g,1}$ (a.e.) = $b_0 + b_1 \cdot q_{g,2}$ (a.e.)

	Coefficients des régressions							
	b_0	b_1	r	N	$\overline{dhp}$	F	A	$A \cdot q_{g,2}$
Grands Lacs	a. 0,78518	0,99979	0,99	1023				
Saint-Laurent	b. 0,23463	0,84359	0,97	1023	30,1	1,195	0,657	0,544
Québec	c. -0,17898	1,05264	0,93	1023				

*$\overline{dhp}$ = diamètre hauteur de poitrine moyen.

Tableau 3. Volume du tronc (m^3) sans écorce

	Hauteur totale (m)												
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Hauteur du tronc (m)												
dhp													
cm	6,5	7,1	7,7	8,3	9,0	9,6	10,2	10,9	11,5	12,1	12,8	13,4	14,0
15	0,076	0,083	0,090	0,097	0,106	0,113	0,120	0,128	0,135				
20	0,133	0,146	0,158	0,170	0,184	0,197	0,209	0,223	0,236	0,248	0,262	0,275	0,287
25	0,206	0,225	0,244	0,263	0,285	0,304	0,323	0,345	0,364	0,383	0,406	0,425	0,444
30	0,294	0,322	0,349	0,376	0,408	0,435	0,462	0,494	0,521	0,548	0,580	0,607	0,634
35		0,436	0,472	0,509	0,552	0,589	0,626	0,669	0,705	0,742	0,785	0,822	0,859
40		0,567	0,615	0,662	0,718	0,766	0,814	0,870	0,918	0,966	1,022	1,069	1,117
45				0,836	0,906	0,967	1,027	1,097	1,158	1,219	1,289	1,349	1,410
50					1,116	1,191	1,265	1,352	1,426	1,501	1,588	1,662	1,736
55					1,348	1,438	1,528	1,633	1,722	1,812	1,917	2,007	2,097
60									2,046	2,153	2,278	2,385	2,491
65									2,398	2,524	2,670	2,795	2,920

N = 1 023 arbres. Précision au niveau de 5 %. Pourcentage + ou - 10,5 %.

$$V_{(t)} = \left(\frac{0{,}14660 + 0{,}53351\ (dhp) + 0{,}48539\ (dhp)^2}{10\ 000} \right) . \ h_{(t)}.$$

Tableau 4. Volume total (m^3) sans écorce
(Souches et houppiers inclus)

dhp cm	Hauteur totale (m)												
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
15	0,102	0,110	0,119	0,127	0,136	0,144	0,153	0,161	0,170				
20	0,181	0,196	0,211	0,226	0,241	0,256	0,271	0,287	0,302	0,317	0,332	0,347	0,362
25	0,283	0,306	0,330	0,354	0,377	0,401	0,424	0,448	0,471	0,495	0,518	0,542	0,566
30	0,407	0,441	0,475	0,509	0,543	0,577	0,611	0,645	0,679	0,713	0,747	0,781	0,814
35		0,600	0,647	0,693	0,739	0,785	0,831	0,878	0,924	0,970	1,016	1,062	1,109
40		0,784	0,845	0,905	0,965	1,026	1,086	1,146	1,207	1,267	1,327	1,388	1,448
45				1,145	1,222	1,298	1,374	1,451	1,527	1,604	1,680	1,756	1,833
50					1,508	1,603	1,697	1,791	1,885	1,980	2,074	2,168	2,262
55					1,825	1,939	2,053	2,167	2,281	2,395	2,509	2,624	2,738
60									2,715	2,851	2,986	3,122	3,258
65									3,186	3,346	3,505	3,664	3,824

N = 1 023 arbres. Précision au niveau de 5 %. Pourcentage + ou - 9,5 %.

$$V = 0{,}37708 \left(\frac{dhp}{100}\right)^2 . h.$$

Tableau 5. Volume du tronc (m^3) avec écorce

	Hauteur totale (m)												
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Hauteur du tronc (m)												
dhp													
cm	6,5	7,1	7,7	8,3	9,0	9,6	10,2	10,9	11,5	12,1	12,8	13,4	14,0
15	0,088	0,096	0,104	0,113	0,122	0,130	0,138	0,148	0,156				
20	0,153	0,167	0,181	0,195	0,212	0,226	0,240	0,256	0,270	0,284	0,301	0,315	0,329
25	0,235	0,257	0,279	0,300	0,326	0,347	0,369	0,394	0,416	0,438	0,463	0,485	0,507
30	0,335	0,366	0,397	0,428	0,464	0,495	0,526	0,562	0,593	0,624	0,660	0,691	0,722
35		0,495	0,537	0,578	0,627	0,669	0,711	0,760	0,801	0,843	0,892	0,934	0,976
40		0,643	0,677	0,751	0,815	0,869	0,923	0,987	1,041	1,095	1,159	1,213	1,267
45				0,947	1,027	1,095	1,164	1,244	1,312	1,380	1,460	1,529	1,597
50					1,263	1,347	1,432	1,530	1,614	1,698	1,797	1,881	1,965
55					1,524	1,626	1,727	1,846	1,948	2,049	2,168	2,269	2,371
60									2,312	2,433	2,574	2,694	2,815
65									2,708	2,850	3,015	3,156	3,297

N = 1 023 arbres. Précision au niveau de 5 %. Pourcentage + ou - 9,6 %.

$$V_{(t)} = \left(\frac{0,33565 + 0,85479\ (dhp) + 0,54421\ (dhp)^2}{10\ 000} \right) \cdot h_{(t)} \cdot$$

Tableau 6. Volume total (m^3) avec écorce

dhp cm	Hauteur totale (m)												
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
15	0,117	0,127	0,137	0,146	0,156	0,166	0,176	0,186	0,195				
20	0,208	0,226	0,243	0,260	0,278	0,295	0,312	0,330	0,347	0,365	0,382	0,399	0,417
25	0,325	0,353	0,380	0,407	0,434	0,461	0,488	0,515	0,542	0,570	0,597	0,624	0,651
30	0,469	0,508	0,547	0,586	0,625	0,664	0,703	0,742	0,781	0,820	0,859	0,898	0,937
35		0,691	0,744	0,797	0,851	0,904	0,957	1,010	1,063	1,116	1,169	1,223	1,276
40		0,903	0,972	1,041	1,111	1,180	1,250	1,319	1,389	1,458	1,527	1,597	1,666
45				1,318	1,406	1,494	1,582	1,670	1,757	1,845	1,933	2,021	2,109
50					1,736	1,844	1,953	2,061	2,170	2,278	2,387	2,495	2,604
55					2,100	2,232	2,363	2,494	2,625	2,757	2,888	3,019	3,150
60									3,124	3,281	3,437	3,593	3,749
65									3,667	3,850	4,033	4,217	4,400

N = 1 023 arbres. Précision au niveau de 5 %. Pourcentage + ou - 8,5 %.

$$V = 0{,}43394 \left(\frac{dhp}{100}\right)^2 . h$$

Annexe 2

Les symboles utilisés

b_0; b_1; b_2 = coefficients de la régression

dhp = diamètre hauteur poitrine

$\overline{dhp}$ = diamètre hauteur poitrine moyen

d.s.e. = diamètre sans écorce

d.a.e. = diamètre avec écorce

d_0 (a.e.); $d_{0,03}$(a.e.); $d_{0,1}$ (a.e.); $d_{0,2}$ (a.e.)...$d_{0,9}$(a.e.) = diamètres avec écorce à la souche, 5, 10, 20 ... et 90 % de la hauteur du tronc $h_{(t)}$

d_0 (s.e.); $d_{0,03}$ (s.e.); $d_{0,1}$ (s.e.); $d_{0,2}$(s.e.)...$d_{0,9}$ (s.e.) = diamètres sans écorce à la souche, 5, 10, 20 ... et 90 % de la hauteur du tronc $h_{(t)}$

$f_{0,1}$ = le coefficient de forme normale (réel) du tronc

h = la hauteur totale de l'arbre

$h_{(t)}$ = la hauteur du tronc

$q_{0,3}$ = quotient de forme normale du tronc (ou coefficient de décroissance réel du tronc)

N = Nombre d'échantillons (arbres)

r = coefficient de corrélation

χ^2 = Khi-deux